

LES MICROFORMES LITORALS DEL MIGJORN

Lluís Gómez-Pujol i Joan J. Fornós

Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears

INTRODUCCIÓ

El manlleu germànic *karren* –rascler o lapiaz, segons Riba (1997)– fa referència a tot aquell seguit de formes, d'ordre mètric a mil·limètric, que són originades pels processos de dissolució que afecten la superfície de les roques, principalment les carbonatades (Fornós, 2000). El ventall de formes incloses sota aquest epígraf és molt ampli i tenen des d'una aparença lineal a una planta arrodonida. Tanmateix, pel que toca a la regió del Migjorn de Menorca, aquest tipus de formes són més aviat escadusseres o inexistents (Ginés i Fornós, en aquest volum). Només s'hi pot fer una excepció, i aquesta correspon a un tipus molt particular de modelat exocàrstic com és el que anomenam *karren* litoral.

Per *karren* litoral cal entendre totes aquelles formes de meteorització que es desenvolupen sobre la roca calcària en ambients litorals i en les quals la dissolució hi juga un paper important. Cocons, formes piramidals i tot un seguit de perforacions de diferents dimensions en són els trets més característics (Trudgill, 1987; Woodroffe, 2002). Tot i la seva aparença, el *karren* litoral no té una naturalesa estrictament càrstica en l'accepció clàssica d'aquest mot (Jennings, 1985); el paper dels agents i proces-

sos fisicoquímics està mediatitzat –i força– per l'acció dels biològics (Schneider, 1976). La interacció entre processos com l'acció mecànica de l'onatge, la fisicoquímica del ruixim marí i molt especialment l'acció biològica de cianobacteris, algues, fongs, gasteròpodes i equinoderms, resulta clau per entendre la meteorització del rocam carbonatat a la costa. De fet, la transcendència del paper de la component biològica explica que aquestes formes, tot sovint, s'agrupin sota epígrafs com biocarst (Viles, 1988a; Moses, 2003) o fitocarst litorals (Folk *et al.*, 1973; Jones, 1989). No obstant això, cal fer menció d'un seguit de formes com són les marmites, les entalladures, les plataformes litorals o les construccions organògenes. Aquestes, tot i tenir una naturalesa complexa i sovint allunyada del que venim a denominar *karren* litoral, estan estretament lligades als ambients i formes que tractam.

Malgrat la presència i l'espectacularitat de les seves formes, el *karren* litoral ha estat abordat en comptades ocasions als estudis de geomorfologia de les Balears. En el cas concret de Menorca hi ha algun treball que en fa referència més o menys explícita (Fornós, 2003; Obrador i Mercadal, 1979), mentre que a Mallorca es gaudeix d'un coneixement més ampli, tant dels aspectes relatius a les formes i les seves propietats (Gómez-Pujol i Fornós, 2001; Moses i Smith, 1994; Rosselló, 1979; Walter-Levy *et al.*, 1958), com també de la inter-

acció entre els agents físics, químics i biològics (Fornós i Gómez-Pujol, 2002; Gómez-Pujol *et al.* 2002; Palmer *et al.* 2003).

Així doncs l'objectiu del present treball és caracteritzar i descriure el *karren* litoral del Migjorn de Menorca fent esment de la seva distribució, l'organització de les seves formes i la relació amb els paràmetres ambientals i la naturalesa del rocam on es desenvolupen.

Àrea d'estudi

Menorca, la més oriental i septentrional de les illes Balears, queda dividida en quatre grans sectors pel meridià 4°E i el paral·lel 40°N. El paisatge menorquí presenta un marcat gradient N-S, controlat per la geologia i la climatologia, que permet distingir-ne dos grans dominis separats per una falla axial que recorre l'illa des del N de Ciutadella fins al port de Maó. El domini meri-

dional és conegut com a Migjorn i està construït per materials carbonatats d'edat miocènica (Obrador i Pomar, aquest volum).

A grans trets, la geomorfologia de la zona del Migjorn es caracteritza per un relleu estructural tabular que coincideix amb l'estratificació horitzontal miocènica. La topografia d'aquesta unitat és plana, però també discontinua ja que està tallada —especialment al sector central— per torrents de gran incisió i parets quasib verticals. La línia de costa del domini geomòrfic meridional és força variable; tot i així, es poden distingir una línia central de penya-segats subverticals —que a les penyes d'Alaior superen els 70 m d'alçària— respecte als quals, a banda i banda, la línia de costa se suavitza i descendeix progressivament. Així, la costa oriental i l'occidental superen poques vegades la cota topogràfica dels 10 m (Rosselló, 2003).

Menorca gaudeix d'un clima temperat, marcadament mediterrani. La temperatura mitjana

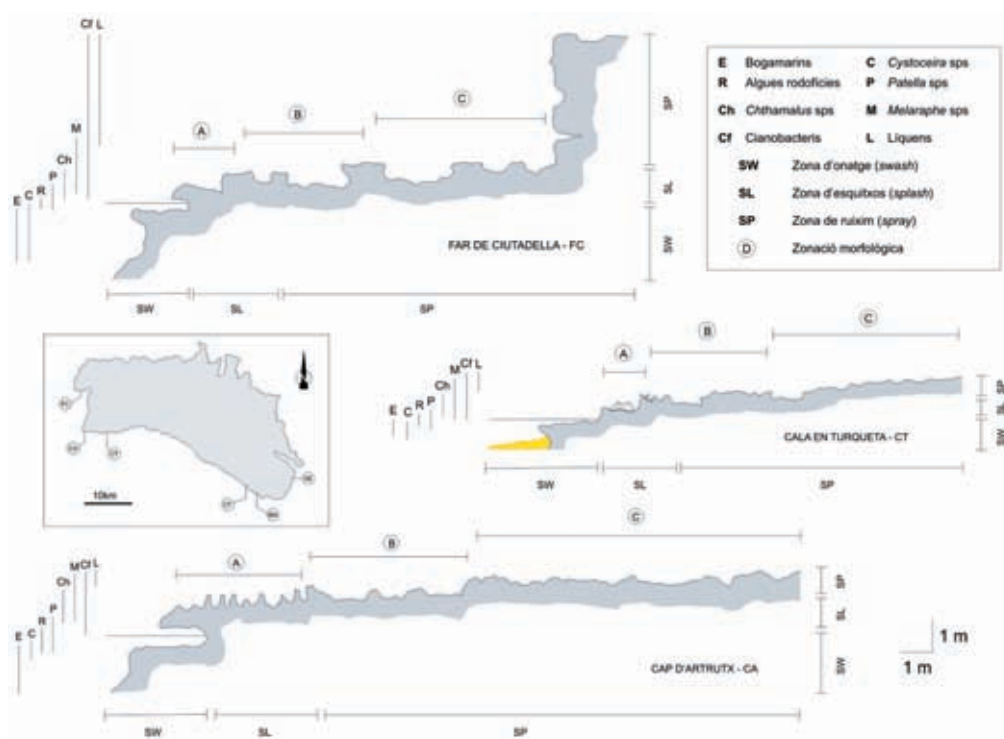


Fig. 15.1. Localització, zonació hidrodinàmica, biològica i morfològica dels perfils de costa del sector occidental del Migjorn de Menorca.

anual se situa entorn dels 16,5°C - 17°C i les precipitacions de 500 a 600 mm (Guijarro, 1986). Pel que fa a la distribució espacial d'aquestes variables a la regió del Migjorn, mentre que per a la temperatura es denota un gradient E-W amb una mitjana de 16,5°C al sector oriental i 18°C a l'occidental, les precipitacions són més o menys homogènies i es mouen entre els 500 i els 525 mm anuals (Pons i Gómez-Pujol, 2003).

Mètode

S'ha procedit a la delimitació de la presència de formes de *karren* litoral arreu de la costa meridional de Menorca mitjançant la visita de camp i l'ús de la fotografia aèria obliqua del "Servicio de Costas del Ministerio de Medio Ambiente". Seguidament s'han seleccionat sis localitats (Fig. 15.1 i 15.2) on s'ha aixecat un perfil topogràfic de detall i s'ha delimitat l'extensió de les zonacions hidrodinàmica i biològica, com també la presència i dimensions dels principals tipus de formes. Per al cas concret dels cocons, atesa la seva preponderància entre totes les altres formes, s'ha duit a terme una caracterització exhaustiva. A cada zona del perfil on eren presents, d'un total de 25 individus i d'acord amb els criteris de Johanson *et al.* (2001), se n'han mesurat les dimensions de l'eix major, l'eix menor, la profunditat i l'orientació. Així mateix s'han considerat altres variables ordinals com la connexió entre cocons, la forma, els tipus de límits, la rugositat del fons o la disposició en funció del sistema de diàclasis.

EL KARREN LITORAL: LES FORMES

L'inventari de formes del rascler litoral de Menorca no es diferencia gaire del que s'ha descrit en altres localitats de materials i característiques climàtiques semblants o properes (Gómez-Pujol i Fornós, 2001; Miller i Mason, 1994; Sanjaume, 1985). El conjunt és, si més no, heterogeni. Hi són presents tant formes de planta arrodonida com lineals, i també són variades les escales en què s'hi manifesten, des de l'ordre mètric fins al mil·limètric.

Cocons (*basin pools*)

Són les formes més abundants i més representatives del *karren* litoral menorquí. Es tracta de depressions de planta el·líptica, poc profundes i de fons més o menys pla. Les seves parets són abruptes i mantenen un angle proper als 90° amb la base. Les parets dels cocons sovint presenten extraploms i entalladures de poc centímetres de fondària (Fig. 15.3). Els mecanismes genètics implicats en el desenvolupament dels cocons són bàsicament bioquímics i el gros de la seva formació s'atribueix als processos de dissolució (Schneider, 1976; Trudgill, 1987). Tot i així, aquest no és l'únic mecanisme que intervé en el desenvolupament dels cocons. Kelletat (1997), Torunski (1979) i Trudgill *et al.* (1987) destaquen l'acció erosiva física i química dels gasteròpodes i en alguns casos dels equinoderms en l'evolució lateral d'aquestes formes.

Les dimensions dels cocons menorquins, així com la forma de la seva planta, són variables, fins i tot en un mateix perfil (Taula 15.1). Així, mentre ens trobam amb un rang global que va des dels 38 cm als 4 m d'eix major, en general els cocons més propers a la mar sempre tenen dimensions menors que aquells que en són més enfora. En el cas del perfil de costa del far de Ciutadella, mentre que a la zona més propera a la mar els cocons tenen unes dimensions mitjanes d'1,37 m, a la zona més terrestre són d'1,40 m d'eix major. La diferència és més acusada al cap d'Artrutx on, de mar cap a terra, passem d'1,26 m a 1,66 m de mitjana d'eix major, o dels 1,16 als 1,34 m a cap d'en Font. L'amplada dels cocons –eix menor– també posa de manifest aquest increment de les dimensions, a mesura que ens desplaçam de mar cap a terra. A cala Sant Esteve passam dels 62 cm als 94 cm a favor del vector descrit, de la mateixa manera que al cap d'Artrutx arran de mar els cocons tenen una amplada mitjana de 63 cm i terra endins d'1 m. La fondària dels cocons no presenta un patró tan clar i el marge de diferència és petit. Tot i així, a totes les localitats es constata un lleuger increment de la profunditat en els cocons més propers a la mar.

Pel que fa a la forma dels cocons del Migjorn, amb independència de la seva distància

		Far de Ciutadella		Cap d'Artrutx		CT	Cap d'en Font		Cala Sant Esteve	
		Zona B	Zona C	Zona B	Zona C	Zona B	Zona B	Zona C	Zona B	Zona C
Eix major (L)	Mitjana	137.90	140.40	125.73	165.90	89.69	115.90	134.30	61.80	93.70
	SD	89.71	101.61	47.09	80.22	23.20	78.85	60.29	24.89	79.95
	Min	55.00	49.00	56.00	80.00	54.00	49.00	57.00	38.00	54.00
	Max	353.00	400.00	220.00	320.00	130.00	312.00	230.00	123.00	320.00
Eix menor (W)	Mitjana	81.73	82.90	63.00	106.00	60.00	60.40	70.30	41.10	60.50
	SD	52.31	46.80	30.47	40.80	14.36	19.93	21.89	9.24	11.62
	Min	33.00	37.00	20.00	60.00	32.00	30.00	34.00	25.00	48.00
	Max	212.10	188.00	109.00	207.00	90.00	90.00	106.00	56.00	89.00
Fondària (D)	Mitjana	37.37	17.40	32.00	32.70	22.77	27.30	30.30	12.70	30.10
	SD	14.44	4.50	6.43	14.85	7.42	8.37	8.41	2.31	45.80
	Min	13.00	11.00	20.00	16.00	10.00	12.00	20.00	10.00	10.00
	Max	67.00	27.00	40.00	53.00	36.00	38.00	45.00	18.00	160.00
L / W	Mitjana	1.84	1.66	2.35	1.56	1.54	1.93	1.95	1.52	1.44
	SD	1.16	0.49	1.36	0.47	0.40	1.11	0.77	0.52	0.76
	Min	1.08	1.19	1.24	1.05	1.00	1.03	1.06	1.04	1.03
	Max	5.88	2.61	6.00	2.29	2.28	4.80	3.54	2.56	3.60
L / D	Mitjana	2.25	4.63	3.84	3.61	2.94	4.13	4.91	4.99	6.14
	SD	1.12	1.68	0.98	1.37	1.29	1.82	2.63	2.03	6.74
	Min	0.83	1.85	2.73	1.72	1.48	2.52	1.43	2.56	0.46
	Max	4.92	7.50	5.79	6.30	5.80	8.21	9.20	9.46	24.62
Obertura	Obert	84.00	30.00	63.64	20.00	38.46	70.00	10.00	90.00	10.00
	Tancat	16.00	70.00	36.36	80.00	61.54	30.00	90.00	10.00	90.00
Forma	Circular	11.11	20.00	18.18	-	38.46	20.00	0.00	10.00	60.00
	Rectangular	11.11	10.00	9.09	10.00	-	-	20.00	10.00	-
	Triangular	5.56	-	9.09	-	15.38	-	20.00	10.00	-
	Allargat	55.56	50.00	54.55	30.00	38.46	50.00	40.00	40.00	20.00
	Irregular	16.67	20.00	9.09	60.00	7.69	20.00	20.00	30.00	20.00
Límits	Rectes	27.78	20.00	36.36	20.00	7.69	10.00	50.00	40.00	-
	Sinuosos	72.22	60.00	63.64	30.00	76.92	70.00	40.00	40.00	70.00
	Indentacions	0.00	20.00	-	30.00	-	10.00	10.00	20.00	-
	Mixtos	0.00	-	-	20.00	15.38	10.00	-	-	30.00
Fons	Pla	0.00	80.00	-	80.00	76.92	-	-	90.00	40.00
	Rugós	83.33	10.00	90.91	-	23.08	100.00	100.00	10.00	60.00
	Crestes	16.67	10.00	9.09	20.00					
Relació amb les fractures	Seguint-ne 1	50.00	70.00	81.82	30.00	61.54	50.00	20.00	70.00	30.00
	Paral·lel a 2	22.22	10.00	9.09	-	-	-	10.00		
	Intersecció 2	22.22	-	9.09	50.00	38.46	40.00	50.00	30.00	60.00
	Intersec. > 2	5.56	20.00	-	10.00	-	10.00	-	-	10.00
	> 2 paral·lels	0.00	-	-	10.00	-	-	20.00		

Taula 15.1. Paràmetres morfològics dels cocons del Migjorn de Menorca. CT: Cala en Turqueta.

al mar, presenten una planta rectangular (20% al 56%) si no arrodonida. N'hi ha molt pocs de rectangulars o irregulars i coincideixen amb la relació del cocó amb més d'un joc de fractures, o la coalescència de diverses formes. La majoria dels cocons allargats estan controlats per la direcció d'una fractura o bé la segueixen (entre el 20 i el 82%, segons la localitat d'estudi). Un fet a destacar, és la connexió dels cocons. El patró general es caracteritza per l'oposició entre les zones d'un mateix perfil. Així, mentre que ran de mar la majoria dels cocons estan connectats uns amb altres (d'un 90 a un 60%, segons l'indret) a la zona més distant de la mar s'hi registra el fet invers i hi predominen els cocons aïllats (d'un 90 a un 70%, segons el perfil estudiat).

Pinacles (*Spitzkarren, pinnacles*)

Són cossos de roca de forma piramidal, aïllats els uns dels altres. Sempre apareixen a la transició entre la zona d'impacte de l'onatge i el domini dels esquixos. Les seves dimensions són molt variables, de deu o vint centímetres a prop de metre i mig. En general els pinacles tenen una aparença molt esponjosa perquè estan completament entapissats per microalvèols sense cap tipus d'orientació preferent. D'altra banda, les seves arestes són molt abruptes. Trudgill (1979), Folk *et al.* (1973) i Jones (1989) atribueixen la gènesi d'aquestes formes a l'erosió diferencial i a l'alteració biològica, especialment pel que fa al microrrelleu superposat a la forma piramidal. Les dimensions dels pinacles al Migjorn de Menorca són molt variables, i es veuen directament controlades per la litologia i la seva fissuració. Així, sobre materials blans com els de cala Sant Esteve o cala en Turqueta, les dimensions dels pinacles són modestes. L'alçada poques vegades supera els 30 cm, mentre que el més habitual és trobar-ne entre 10 i 15 cm. En canvi, a localitats com el far de Ciutadella, el cap d'Artrutx o el cap d'en Font, els pinacles estan molt ben desenvolupats. S'hi troben exemples que poden arribar al metre d'alçada (Fig. 15.3). Pel que fa a l'amplària, és variable, fins i tot a un mateix perfil, i no sembla mantenir una relació morfomètrica amb l'alçada. La forma tendeix a ser cònica amb les parets còncaues.

Microalvèols (*cockling, micropits*)

Són petites depressions de planta arrodonida o el·líptica, poc profundes. Les dimensions del seu eix menor són inferiors al centímetre i la profunditat no supera la meitat del diàmetre. Es poden presentar alineats, seguint una diàclasi, en coalescència o de forma aïllada, tant sobre superfícies planes com sobre superfícies verticals. No tenen una orientació preferent, ni sentit gravitatori i el recobriment biològic és del 100% (Fig. 15.4). Folk *et al.* (1973), Viles (1988) i Moses (2003) els atribueixen un origen biològic, ja que identifiquen els líquens i els cianobacteris com a responsables de la gènesi i evolució d'aquestes formes. És comú trobar individus del gasteròpode *Melaraphe neritoides* dins aquests microalvèols, sovint amb una relació proporcional amb les dimensions de la microcavitat. Tanmateix, i com s'ha posat de manifest per a altres localitats (Kelletat, 1980), resulta difícil discriminar on comença i on acaba l'acció del gasteròpode o dels cianobacteris. El paper de les sals tampoc no es descarta en la gènesi i evolució d'aquestes formes (Moses i Smith, 1994). Els microalvèols són presents arreu del perfil de costa, tot i que la seva densitat sembla seguir el patró de la cobertura algal de la roca. L'aparença rugosa de la roca disminueix terra endins.

Microsolcs (*microrills, Rillestein*)

Són formes lineals l'amplada de les quals sol ésser d'1 mm i la fondària molt escassa. Tenen el fons suau i les parets arrodonides. Solen presentar uns traçats sinuosos i fins i tot trenats sobre superfícies subhorizontals, amb tendència a esdevenir rectes amb l'increment de la rostrària. A Menorca apareixen sobre superfícies de textura molt fina i homogènia i d'una manera dispersa segons la naturalesa textural de l'ambient sedimentari del Miocè del Migjorn. No els trobam més que a la zona de ruixim. Ford i Williams (1989) atribueixen als fluxos d'aigua per capil·laritat la gènesi d'aquesta forma i destaquen el paper que hi poden tenir les rosades o les pel·lícules primes d'aigua com a agents de meteorització. Aquesta forma apareix a quasi totes les localitats mostrejades, això sí, sempre de forma

puntual. El desenvolupament dels microsolcs sembla afavorit pel pendent de la roca. Així, a les rodalies del cap d'en Font, on són força abundants, la llargària dels *microrills* desenvolupats sobre cossos de roca amb pendent superior és major que no en els que es troben sobre afloraments més horitzontals. Una característica que els canalicles menorquins comparteixen amb els del llevant mallorquí (Gómez-Pujol i Fornós, 2001), els de Cabrera (Ginés, 1993) o fins i tot amb els de Tunísia (Smith *et al.*, 2000) és que sovint, aquestes formes lineals es veuen desmantellades per microalvèols colonitzats per líquens i cianobacteris (Fig. 15.4).

Microfissures i esquerdes

Són formes lineals rectes o sinuoses que segueixen la direcció de les diàclasis o l'estratificació del substrat. Es manifesten en diferents ordres de magnitud, les primeres no superen l'ordre centimètric, mentre que les segones sí

que ho fan. Quan sobre un substrat es donen diverses famílies de diàclasis, les esquerdes poden formar canals, aparentment meandriformes. En el Migjorn menorquí aquestes formes no tenen una manifestació prou evident a causa de l'abundància dels cocons. Tot i així, es poden apreciar al domini del ruixim i en aquells perfils de costa amb rost més accentuat.

Conductes de subsòl

Són formes tubulars arrodonides i suaus. El seu radi és força més petit que no la seva profunditat. No tenen un sentit estrictament gravitatori i aprofiten les línies de debilitat de la roca per a desenvolupar-se. La forma vertical del conducte pot ésser sinuosa i en molts casos apareix amb sòls originals, relictos o transportats al seu interior. Les parets són llises, amb evidents signes d'una dissolució homogènia facilitada per la cobertura edàfica. Trobam especialment aquests conductes

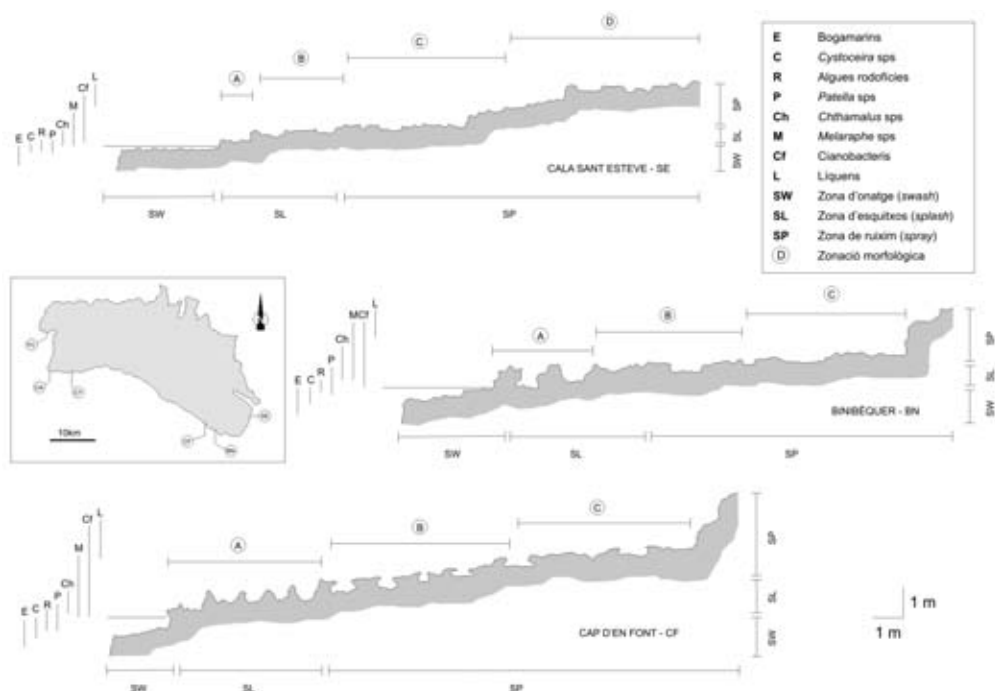


Fig. 15.2. Localització, zonació hidrodinàmica, biològica i morfològica dels perfils de costa del sector oriental del Migjorn de Menorca.

als trams de costa baixa del Migjorn com punta Prima o Binibèquer, bé a les àrees on la coberta edàfica n'ha estat desmantellada, com enmig del domini dels cocons, sempre a l'àrea afectada pel ruixim. Les relacions entre els eixos dels conductes és d'1 a 1, per a les dimensions en planta, i d'1 a 2, respecte a l'eix major i les fondàries. Els exemples varien des de mínims de 5 x 5 x 10 cm fins a màxims de 30 x 25 x 60 cm (Fig. 15.4).

Associades a les descrites, apareixen un seguit de formes de naturalesa poligènica que, en el sentit estricte del terme, no són exocàrstiques. Tal vegada les més comunes i identificades a la bibliografia com a elements del micromodelat de les costes calcàries (Schneider, 1976; Spencer, 1988) són la plataforma litoral i l'entalladura (*notch*). Altres formes, amb una presència més puntual, són les marmites o els bufadors.

Plataformes litorals (*shore platform*)

Són superfícies d'erosió subhorizontals d'extensió variable en funció de l'exposició i les característiques del substrat sobre el qual es desenvolupen (Fig. 15.5). De més a més d'un important influx de les condicions oceanogràfiques, els processos que hi intervenen són variats i van des de l'acció mecànica de l'onatge fins a la meteorització química i l'acció bioerosiva (Stephenson, 2000). A Menorca les plataformes litorals són una forma habitual als sectors oriental i occidental del Migjorn. Apareixen de forma intermitent, tot i que a segments de costa com els d'Artrutx, Binidali, Binibèquer o la costa d'en Sivineta, tenen una marcada continuïtat lateral. La seva amplada és variable; les dimensions abracen des dels 2 m fins 5 o 6 m, per norma general romanen sota l'aigua i estan entapissades per pradells d'algues verdes (*Cystocleira* sp.). Les plataformes litorals solen estar cobertes per un relleix bioconstruït per algues calcàries i vermètids que s'anomena *trottoir* (Dalongeville, 1995). Es disposa sobre la costa rocosa o adossat a ella des de pocs mil·límetres per sobre el nivell de la mar a uns quants centímetres per sota, condicionat per l'abast de la cavitació de l'onatge que és un dels mecanismes més importants d'aportació d'oxigen i nutrients que requereixen aquestes comunitats (Focke, 1978).

Entalladures (*notchs*)

Són indentacions de pocs centímetres a bastants metres, tallades a la costa rocosa en el vessant que dona a la mar (Pirazzoli, 1986). El seu desenvolupament s'atribueix a processos diversos de meteorització, químics, mecànics o biològics. És una expressió morfològica molt comuna a tot el perímetre litoral del Migjorn menorquí (Fig. 15.5). Les dimensions són variables des dels 50 cm d'altura i 1 m d'amplada a les proximitats del port de Ciutadella fins a 1,5 m d'alçària i 2 d'amplada al cap d'Artrutx o a s'Algar.

Marmites (*potholes*)

Són depressions de planta cilíndrica o arrodonida, formades sobre el substrat rocós per l'acció física tant d'arenes, grava i còdols, com blocs que són moguts o posats a rodar per l'energia de l'aigua (Sunamura, 1992). En el cas del Migjorn menorquí no són tan abundants com els cocons, però sí que en trobam exemples amb certa freqüència. Cal destacar-ne la variabilitat quant a les dimensions. En tenim d'ordre centimètric –les més habituals–, però també es donen casos –que no són gens excepcionals– on les dimensions superen els 4 m d'eix major. A la punta des Rafalet n'hi ha bons exemples (Fig. 15.5).

Bufadors (*blowhole*)

Són conductes de forma molt variada que, aprofitant els plans de debilitat, connecten la superfície de la costa amb cavitats obertes a la mar o amb la base d'una entalladura, de manera que, quan l'onatge impacta la costa, desplaça l'aire i l'aigua mitjançant la fissura com si es tractés d'un guèiser. Les dimensions d'aquests conductes són molt variables. Sovint, com succeix a cala en Turqueta, són completament lineals, aprofitant el pla d'una esquerra. Altres vegades, atesa la naturalesa poligènica, són de grans dimensions arran de l'esbaldregament d'alguna cova. Un exemple prou conegut, per les seves dimensions, és el bufador del cap de Banyos a Ciutadella.

L'ORGANITZACIÓ DE LES FORMES

Els sis perfils de costa (Fig. 15.1 i 15.2) sintetitzen, tant l'organització espacial de les formes del *karren* litoral, com el tipus de costa on apareixen. En general es tracta d'un perfil de costa lleugerament inclinat amb una modesta tendència còncava, que supera el desnivell mitjançant esglaons.

L'abast del modelat del *karren* litoral és variable i sembla dependre, d'una banda, de la litologia i, de l'altra, del grau d'exposició als agents marins, principalment a l'onatge. Així, mentre a indrets arrecerrats com l'interior de cala en Turqueta o de cala Binibèquer, la zona afectada pel rascler litoral és d'uns 8 a 10 m terra endins, a zones més exposades, com el cap d'Artrutx o el cap d'en Font, els perfils s'acosten o passen la vintena de metres. Tot i

així, el *karren* litoral presenta una organització i una gradació interna molt acusada. Comptat i debatut, la gradació de les formes, la fauna i la flora és una de les característiques més destriables de les costes rocoses (Spencer, 1988) i està associada al grau d'humidificació derivat de l'onatge i al perfil de costa (Palmer *et al.*, 2003). De fet, de mar cap a terra, distingim tres sectors: una zona de domini de l'onatge, una segona dels esquitxos de les ones, i una tercera on l'aportació de l'aigua de mar ve en forma d'aerosol, de ruixim.

El domini de l'onatge coincideix amb l'àmbit on trobam formes com les plataformes litorals i les concrecions orgàniques que duen associades. En aquest sector del perfil de costa, que roman quasi sempre per sota del nivell marí, és freqüent trobar algunes formes molt característiques d'origen biològic. Es tracta de



Fig. 15.3. Foto superior esquerra: cocons aïllats i coalescents al cap d'en Font. Foto inferior esquerra: Detall del sobreplom dels cocons i de la rugositat de les parets verticals dels cocons a cala Sant Esteve. Foto superior dreta: Pinacles de grans dimensions al cap d'Artrutx i transició a la zona dels cocons. Foto inferior dreta: Pinacles de petites dimensions a punta Prima.

les cavitats alveolars que deixen els bogamarins i que mantenen una relació geomètrica amb la mida d'aquests individus (Peyrot-Clausade *et al.*, 2000); la resta de la superfície de la plataforma litoral està entapissada per pradells d'algues verdes –majoritàriament *Cystoceira* sp.– com també per concrecions d'algues calcàries i vermèdids. Aquesta coberta actua com a agent de protecció i evita, en bona part, l'erosió mecànica de la plataforma, desplaçant l'onatge i la seva acció cap a l'interior del perfil. Només quan el perfil subhoritzontal de la plataforma comença a esdevenir vertical, ens trobam amb una entalladura o amb un esglaó a partir del qual comença la zona emergida de la costa rocosa. A grans trets, en ambdós casos, es tracta de superfícies amb abundants microalvèols, completament recobertes de cianobacteris i, a les zones més properes al nivell marí, d'algues calcòfiles i bioherms de musclos (*Mytilus edulis*). Juntament amb els microalvèols descrits a l'inventari, és fàcil trobar formes alveolars creades per gasteròpodes com les pegellides (*Patella* sp.) i els polioplacòfors (*Chiton* sp.).

El domini dels esquitxos abraça des de la part superior de l'entalladura o de l'esglaó, fins allà on arriben les darreres gotes d'aigua. La quantitat d'aigua implicada a l'esquix marca un gradient dins d'aquesta zona. Allà on l'acció de l'aigua és més insistent (Zona A) hi són presents amb caràcter dominant els pinacles, amb tot el seguit de microalvèols superposats. Hi comencen a aparèixer els primers individus de *Melaraphe neritoides*; allà on els fluxos d'aigua es concentren, trobam importants cobertes d'organismes filtradors (*Chthamalus stellatus* i *C. depressus*). Dellà dels pinacles completament aïllats i quan ja es comença a donar la transició entre la zona d'esquitxos i la del ruixim, dominen les formes de planta arredonida. Alguns d'aquests cocons –com es posa de manifest al cap d'Artrutx o a Binibèquer– semblen mantenir una relació genètica amb els pinacles. De fet alguns dels pinacles estan connectats els uns amb els altres a la seva base, tot conformant petites conques. Un poc més enre, la superfície pren un relleu més horitzontal on els cocons són la forma més característica

(Zona B). En aquesta zona els cocons mostren un alt grau de connexió, del 70 al 90% dels casos, i bona part d'ells presenta sobreploms.

Ja dins el domini del ruixim (Zona C) els cocons continuen essent les formes més característiques. Aquest cop, però, es troben aïllats els uns dels altres i no tots presenten sobreploms. Les superfícies entre cocons estan microalveolitzades; tot i que, com passa amb la cobertura de cianobacteris, la densitat de microalvèols disminueix terra endins. Hi comencen a aparèixer alguns líquens crustacis a la superfície de la roca i el gasteròpode *Melaraphe neritoides* és molt abundant, especialment a les parets dels cocons i a les esquerdes. En aquest domini s'hi poden localitzar canalicles o conductes de subsòl lleugerament remanegats.

Rere el domini del ruixim, allà on l'acció dels processos marins i dels terrestres és més confusa (Zona D), encara hi trobam alguns cocons. Això sí, tenen un aspecte més suau i les parets menys rugoses. Els canalicles continuen apareixent de forma intermitent. En funció del perfil, l'erosió dels sòls permet avaluar la transició dels conductes de subsòl a formes de *karren* litoral, i comencen a aparèixer algunes plantes superiors (*Limonium* sp.) que deixen enrere el domini exclusiu de cianobacteris i líquens.

LA DISTRIBUCIÓ DEL KARREN LITORAL

Tot i que es poden trobar exemples propis dels sistemes de *karren* litoral arreu de la costa del Migjorn de Menorca, el seu grau de desenvolupament –pel que fa les formes en particular i la seva relació espacial– no és homogeni al llarg del perímetre.

Als sectors oriental i occidental del Migjorn hi trobam perfils amb un *karren* litoral ben desenvolupat, amb un ventall ampli de formes i una organització espacial en funció d'un gradient mar-terra. En canvi, al sector central del Migjorn, tot i que apareixen puntualment algun grup de cocons i són abundants formes com els alvèols i els microalvèols, no s'identifica cap mena de jerarquització de les formes. Això no



Fig. 15.4. Foto superior esquerra: Canalicles sobre una clapa de materials fins al domini d'esprai o ruixim de la costa de punta Prima. Foto inferior esquerra: Conductes de subsòl desenterrats en la transició del domini terrestre cap al marí. Foto dreta: Microalvèols superposats a les formes còniques dels pinacles.

vol dir que no es donin els processos de meteorització i erosió considerats en l'evolució del *karren* litoral –de fet la presència dels alvèols n'és una prova tàcita– sinó que hi ha tot un seguit de factors que impedeixen l'organització d'un perfil convencional. Aquest fet també és extensiu a altres formes que en sentit estricte no tenen una naturalesa “càrstica” com són les plataformes litorals, entalladures o marmites.

Dos factors, estretament interrelacionats, contribueixen a aquest patró de distribució territorial. Es tracta de la combinació de litologia i estructura. Des d'un punt de vista geològic, al Migjorn hi afloren tan sols els materials del Miocè afectats per una estructura antiformal molt laxa (Gelabert, 2003). Aquest fet permet que les unitats inferiors de la seqüència miocènica aflorin a la part central de l'illa, mentre que als sectors oriental i occidental només guaiten els nivells superiors. Obrador i Pomar (en aquest

volum), dins el Miocè diferencien tres unitats que, tot i presentar una composició calcarenítica similar, des del punt de vista textural, mostren una gran diferència. Així, als segments costaners oriental i occidental hi aflora la Unitat Escullosa. La litologia d'aquesta unitat correspon a una calcarenita bioclàstica texturalment grollera i de composició majoritàriament algal, amb molta macrofauna que li confereix una gran porositat primària (Pomar *et al.*, 2002). Per contra, a la zona central hi aflora de forma predominant la unitat inferior (Unitat Inferior de Barres). La seva litologia es caracteritza per tenir calcarenites texturalment més uniformes, amb una relativa variabilitat capa a capa i amb una major predominància de la fracció fina. La seva composició és també majoritàriament algal, mentre que la resta de macrofauna està més difuminada i es limita a bivalves nedadors i equinoderms (Pomar *et al.*, 2002). La tercera unitat (Unitat Basal

Conglomeràtica) només aflora de forma puntual en relació directa amb el basament. Una altra característica important és el diaclasament i la fracturació distensiva incipient que afecta totes les unitats esmentades, amb orientacions variables condicionades per l'antiforme citat i l'evolució de la línia de costa.

DISCUSSIÓ

La relació entre procés i forma és una eina habitual als estudis de meteorització i l'evolució del paisatge (Mottershead, 2000). Així doncs, a partir del reconeixement de les formes i la seva organització, podem identificar els agents i els processos que actuen sobre el micromodelat de les costes calcàries del Migjorn de Menorca, com també el seu abast en el gradient mar-terra.

La figura 15.6 és un esquema sintètic on es representa la relació entre les formes i els processos enumerats. Les superfícies suaus i arrodonides on apareixen els conductes de subsòl són indicadors d'un domini dels processos terrestres. Aquestes formes corresponen a la dissolució química de la roca sota la coberta d'un sòl. Quan el sòl és desmantellat, les superfícies exhumades i exposades al retreballament per la meteorització els dona una aparença més rugosa (Ford i Williams, 1989; Ginés, 1999). A partir d'aquest punt, el rocam roman descobert i és intensament colonitzat per líquens que juguen un paper important en l'evolució del micromodelat. D'una banda, líquens i cianobacteris entapissen la roca i la protegeixen de l'acció física directa dels esquitxos d'aigua o de les gotes de pluja; alhora, però, augmenten la rugositat i retenen una fina pel·lícula d'aigua



Fig. 15.5. Foto esquerra: Marmita de grans dimensions a la punta des Rafalet. Foto superior dreta: Plataformes litorals ben desenvolupades a l'interior de cala Sant Esteve. També es pot apreciar la zonació morfològica de plataforma, pinacles, cocons coalescents i cocons aïllats. Foto inferior dreta: Entalladura d'ordre mètric al cap d'Artrutx.

que pot actuar com a agent de meteorització química; això, de més a més, de l'acció d'alteració fisicoquímica que es deriva de la seva activitat fisiològica (Chen *et al.* 2000; Moses, 2003; Viles, 1988b).

Els cocons han estat considerats com a formes típiques de dissolució (Trudgill, 1987), però cal fer algunes remarques. Tot i que sovint aquestes depressions s'omplien d'aigua de pluja –amb agressivitat suficient per a la dissolució– aquesta no és la situació habitual. El més habitual és trobar als cocons, si no aigua marina, sí salabrosa. Aquest fet implica un problema genètic, ja que l'aigua marina està sobresaturada de carbonat càlcic i, per tant, no pot atacar el calcari. No obstant això, gràcies als treballs de Schneider (1976) i Trudgill (1976), sabem que l'acció fisiològica nocturna dels cianobacteris provoca la dissolució de la roca. Durant el dia, la flora que cobreix la roca, consumeix el CO₂ mitjançant l'acció fotosintètica. En el moment que no disposa de llum suficient, s'atura aquest procés i es produeix un increment del contingut en CO₂ a l'aigua del cocó. D'aquesta manera es dissocia el carbonat càlcic i el volum d'aigua deixa d'estar sobresaturat i se n'incrementa el potencial de dissolució. Aquesta procés bioinduït també és extensiu als microalvèols i pinacles, tot i que per a ambdós no es pot deixar de considerar l'acció de les sals, de més a més de la biològica (Jones, 1989; Moses, 2003) que els dona aquesta aparença esponjosa i esmolada. Finalment l'entalladura i la plataforma litoral pateixen amb més intensitat l'acció mecànica de les ones, així com els pro-

cessos més importants de bioerosió per part de gasteròpodes i equinoderms.

Queden, per tant, definits quatre vectors. El primer correspon a la dissolució inorgànica, que disminueix en importància de terra cap a mar. El segon fa referència a l'acció induïda per la coberta biològica –especialment líquens i cianobacteris– i que és proporcional a la seva densitat: minva de mar cap a terra. Amb un patró semblant, però d'un abast més reduït, cal considerar la meteorització per sals, de la mateixa manera que l'acció física de l'onatge o la bioerosió, els quals, un respecte l'altre, escurcen el radi d'acció espacial.

CONCLUSIONS

La distribució i el desenvolupant del *karren* litoral al Migjorn de Menorca depèn de la forma, dimensions i estructura general dels penya-segats del litoral. Per això el màxim desenvolupament es dona damunt les calcarenites del Miocè i dels testimonials afloraments d'eolianites pliocèniques. La variació en l'espectacularitat i representació del *karren* correspon a l'aflorament de les fàcies del Miocè. Això és especialment important en els sectors oriental i occidental de l'illa on el litoral presenta la cota més baixa i es constata la presència de les fàcies esculloses texturalment més gruixades (calcarenites algals) i poroses. En canvi, al sector central, ja sia per la presència de penya-segats verticals de major altària, bé per una composició

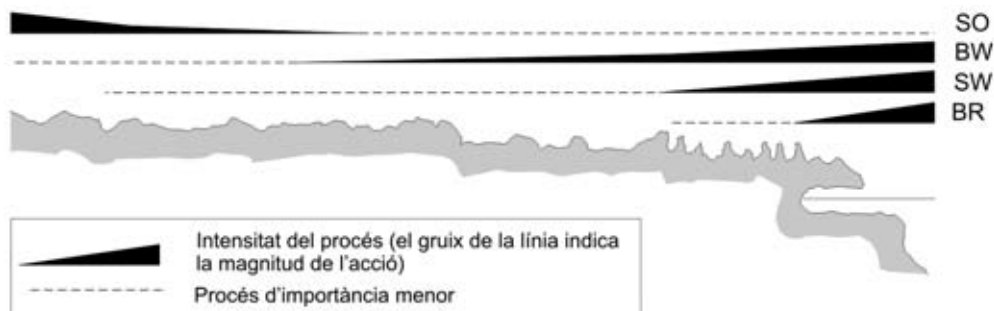


Fig. 15.6. Relació entre processos i forma en la zonació litoral. SO: Dissolució. BW: Meteorització biològica. SW: Meteorització per sals. BR: Bioerosió.

més lutítica del rocam, les formes del *karren* s'hi han desenvolupat menys. Val a dir que, encara que a la zona costanera de Tramuntana, on hi ha afloraments calcaris i dolomítics mesozoics, el *karren* litoral també s'hi dona, mai no arriba a adquirir les característiques de desenvolupament que s'observen al Migjorn.

Tot el conjunt de microformes es disposa d'acord amb una zonació litoral (resultat de la combinació de la zonació biològica i el gradient dinàmic, és a dir, una zonació ecològica) similar a la descrita per Gómez-Pujol i Fornós (2001) per a l'illa de Mallorca. Aquesta zonació es fonamenta en una munió de paràmetres físics corresponents a la dinàmica marina, entre els que cal destacar els relatius a l'onatge (període, altura, longitud d'ona, orientació), la zona d'esquitxos, o la zona de ruxim o d'aerosol. Cal afegir-hi els paràmetres biològics de la zonació, derivats dels subambients modificats per la influència marina i/o continental en una clara direccionalitat transversal a la costa. Al seu torn la zonació biològica –en principi paral·lela al litoral– pot manifestar-se localment una gran variabilitat, condicionada pel perfil general de la secció de la costa. Així, a causa de la disposició estructural, pot haver-hi zones protegides de l'acció física o microhàbitats deguts al diaclasmament o fracturació dels materials carbonatats que quedin arrecerats de la insolació i on la humitat es conserva.

El pas de mar a terra és el domini de les plataformes i altres formes d'abrasió amb cavitats alveolars producte de la macrobioerosió (principalment per gasteròpodes i equinoderms). Fora d'aquestes àrees i en direcció a terra, les formes alveolars i microalveolars presenten la màxima densitat, i disminueixen ràpidament terra endins (sempre segons la disposició general del penya-segat). La zona de pinacles marca el límit on es desenvolupen els cocons sobre les superfícies planes supramareals. A partir d'aquest punt, les formes de dissolució tendeixen a disminuir i el control geomòrfic estructural esdevé més evident, fins a arribar al domini ja clarament fora de la influència marina, on el *karren* desenvolupat sota el sòl (*criptolapiaz* o *karren* de subsòl) assoleix la màxima representació.

Agraïments

El present treball és una contribució al projecte de la Direcció General d'Investigació del Ministeri de Ciència i Tecnologia BTE2002-04552-C03: "El modelado kárstico y la evolución morfológica y sedimentaria del litoral en las Baleares, Valencia y Cerdeña, como resultado de las oscilaciones del nivel marino". Lluís Gómez-Pujol és becari del programa FPI de la Direcció General de R+D+I del Govern de les Illes Balears.

BIBLIOGRAFIA

- CHEN, J., BLUM, H. i BEYER, L. 2000. Weathering of rocks induced by lichen colonization. A review. *Catena*, 39: 121-146.
- DALONGEVILLE, R. 1995. Le rôle des organismes constructeurs dans la morphogénie des littoraux de la mer Méditerranée. *Bull. Lab. Rhod. De Géom.*, 11-12: 3-12.
- FOCKE, J.W. 1978. Limestone cliff morphology on Curaçao (Netherlands Antilles), with special attention to the origin of notches and vermetid/coralline algal surf benches ("cornices", "trottoirs"). *Z. Geomorph. N.F.*, 22: 329-349.
- FOLK, R.L., ROBERTS, H.H. i MOORE, C.H. 1973. Black phytokarst from Hell, Cayman Islands, British West Indies. *Geol. Soc. Amer. Bulletin*, 84: 2351-2360.
- FORD, D. i WILLIAMS, P. 1989. *Karst geomorphology and hydrology*. Chapman & Hall. London. 601 pp.
- FORNÓS, J.J. 2000. Karren. In: Hannock, P. i Skinner, B. (eds.). *The Oxford Companion to the Earth*: 575-576. Oxford University Press. Oxford.
- FORNÓS, J.J. 2003. El karst i la evolució del litoral del Migjorn de Menorca. In: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, L. (eds.). *Introducción a la Geografía Física de Menorca*: 101-110. AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- FORNÓS, J.J. i GÓMEZ-PUJOL, L. 2002. Estudio integrado del lapiaz costero de Mallorca dentro del proyecto ESPED: Metodología y resultados preliminares. *Boletín de la SEDECK*, 3: 106-115.
- GELABERT, B. 2003. La estructura geològica de Menorca: Las zonas de Tramuntana y Migjorn. In: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, L. (eds.). *Introducción a la Geografía Física de Menorca*: 39-48. AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- GINÉS, A. 1993. Morfologías exocársticas. In: Alcover, J.A., Ballesteros, E. i Fornós, J.J. (eds.). *Historia natural de la archipélago de Cabrera*: 153-160. CSIC, Societat d'Història Natural, Moll. Palma.
- GINÉS, J. 1999. *Morfología kárstica y vegetación en la Serra de Tramuntana. Una aproximación ecológica*. Tesis doctoral inédita. Departament de Biologia Ambiental. Universitat de les Illes Balears.
- GÓMEZ-PUJOL, L. i FORNÓS, J.J. 2001. Les microformes de meteorització del litoral calcari de Mallorca. Aproximació a la seva sistematització. *Endins*, 24: 169-185.

- GÓMEZ-PUJOL, LL., BALAGUER, P., BALDO, M., FORNÓS, J.J., PONS, G.X. i VILLANUEVA, G. 2002. Patrones y tasas de erosión de *Melastapha neritoides* (Linneo 1875) en el litoral rocoso de Mallorca. Resultados preliminares. In: Pérez-González, A., Vegas, J.A. i Manchado, M.J. (eds.). *Aportaciones a la geomorfología de España en el inicio del Tercer Milenio*. 351-354. Instituto Tecnológico Geominero de España. Madrid.
- GUIJARRO, A. 1986. *Contribución a la bioclimatología de las Baleares*. Tesis doctoral inédita. Departament de Biologia Ambiental. Universitat de les Illes Balears.
- JENNINGS, J.N. 1985. *Karst geomorphology*. Blackwell. Oxford. 293 pp.
- JOHANSSON, M., MIGON, P. i OLIMO, M. 2001. Development of joint-controlled rock basins in Bohus granite SW Sweden. *Geomorphology*, 40: 145-161.
- JONES, B. 1989. The role of microorganisms in phytokarst development on dolostones and limestones, Grand Cayman, British West Indies. *Canadian Journal of Earth Science*, 26: 2204-2213.
- KELLETAT, D.H. 1980. Formenschatz und prozessgefüge des "Biokarstes" an der Küste von Nordost-Mallorca (Cala Guya). *Berliner Geographische Studien*, 7: 99-113.
- KELLETAT, D.H. 1997. Mediterranean coastal biogeomorphology: processes, forms and sea-level indicators. *Bull. Inst. Océanographique Monaco*, 18: 209-224.
- MILLER, W.R. i MASON, T.R. 1994. Erosional features of coastal beachrock and aeolianite outcrops in Natal and Zululand, South Africa. *Journal of Coastal Research*, 10: 374-394.
- MOSES, C.A. 2003. Observations on coastal biokarst, Hells Gate, Lord Howe Island, Australia. *Z. Geomorph. N.F.*, 47: 83-100.
- MOSES, C.A. i SMITH, B.J. 1994. Limestone weathering in the supra-tidal zone: an example from Mallorca. In: Robinson, D.A. i Williams, R.B.G. (eds.). *Rock weathering and landform evolution*. 433-451. John Wiley & Sons. Chichester.
- MOTTERSHEAD, D.N. 2000. Identification and mapping of rock weathering surface forms and features. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.*, 120: 2-22.
- OBRADOR, A. i MERCADAL, B. 1979. Geomorfologia de Menorca. In: Vidal, J.M. (ed): *Enciclopèdia de Menorca*. Volum 1: 267-320. Obra Cultural Balear. Ciutadella.
- PALMER, M., FORNÓS, J.J., BALAGUER, P., GÓMEZ-PUJOL, LL., PONS, G.X. i VILLANUEVA, G. 2003. Spatial and seasonal variability of the macro-invertebrate community of a rocky coast in Mallorca (Balearic Islands): implications for bioerosion. *Hydrobiologia*, 501: 13-21.
- PEYROT-CLAUSADE, M., CHABANET, P., CONAND, C., FONTAINE, M.F., LETOURNEUR, Y. i HARMELIN-VIVIEN. 2000. Sea Urchin and fish bioerosion on la Réunion and Moorea Reefs. *Bulletin of Marine Science*, 66: 477-485.
- PIRAZZOLI, P.A. 1986. Marine notches. In: Van de Plassche, O. (ed.). *Sea level research: a manual for collection data*. 361-400. Geobooks. Norwich.
- POMAR, L., OBRADOR, A. i WESTPHAL, H. 2002. Sub-wavebase cross-bedded grainstones on distally steepened carbonate ramp, Upper Miocene, Menorca, Spain. *Sedimentology*, 49: 139-169.
- PONS, G.X. i GÓMEZ-PUJOL, LL. 2003. Introducción al medio físico de Menorca. In: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, LL. (eds.). *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. 1-30. AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- RIBA, O. 1997. *Diccionari de Geologia*. Enciclopèdia Catalana. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona. 1.407 pp.
- ROSSELLÓ, V.M. 1979. Algunas formas kársticas litorales de Mallorca. In: Barceló, B. (ed.). *Actas del VI Coloquio de Geografía*. 115-121. AGE, Universidad de Palma de Mallorca. Palma.
- ROSSELLÓ, V.M. 2003. Geomorfologia general. In: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. i Gómez-Pujol, LL. (eds.). *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. 49-63. AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- SANJAUME, E. 1985. *Las costas valencianas, sedimentología y morfología*. Universitat de València. València. 505 pp.
- SCHNEIDER, J. 1976. Biological and inorganic factors in the destruction of limestone coasts. *Contribution to Sedimentology*, 6: 1-112.
- SMITH, B.J., WARKE, P.A. i MOSES, C.A. 2000. Limestone weathering in contemporary arid environments: a case study from southern Tunisia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25: 1343-1354.
- SPENCER, T. 1988. Limestone coastal morphology: the biological contribution. *Progress in Physical Geography*, 12: 66-101.
- STEPHENSON, W.J. 2000. Shore platforms: a neglected coastal feature? *Progress in Physical Geography*, 24: 311-327.
- SUNAMURA, T. 1992. *Geomorphology of rocky coasts*. John Wiley. Chichester. 302 pp.
- TORUNSKI, H. 1979. Biological erosion and its significance for the morphogenesis of limestone coasts and for nearshore sedimentation (Northern Adriatic). *Senckenbergiana maritima*, 11: 193-265.
- TRUDGILL, S.T. 1976. The marine erosion of limestones on Aldabra Atoll, Indian Ocean. *Z. Geomorph. N.F. Suppl.*, 26: 164-200.
- TRUDGILL, S.T. 1979. Spitzkarren on calcarenites, Aldabra Atoll, Indian Ocean. *Z. Geomorph. N.F. Suppl. Bd.*, 32: 67-74.
- TRUDGILL, S.T. 1987. Bioerosion of intertidal limestone, Co. Clare, Eire - 3: Zonation, process and form. *Marine Geology*, 74: 111-121.
- TRUDGILL, S.T., SMART, P., FRIEDERICH, H. i CRABTREE, R.W. 1987. Bioerosion of intertidal limestone, Co. Clare, Eire - 1: *Paracentrotus lividus*. *Marine Geology*, 74: 85-80.
- VILES, H.A. 1988a. *Biogeomorphology*. Blackwell. Oxford. 365 pp.
- VILES, H.A. 1988b. Cyanobacterial and other biological influences on limestone weathering on Aldabra: implication for landform development. *Biological Society of Washington Bulletin*, 8: 5-13.
- WALTER-LEVY, L.; FRÉCAUT, R. i STRAUSS, R. 1958. Contribution à l'étude de la zone littorale des îles Baléares. Biologie et chimie des algues calcaires. Formes du relief qui leur sont liées. *Revue algologique*, 3: 202-228.
- WOODROFFE, C.F. 2003. *Coasts. Form, process and evolution*. Cambridge University Press. Cambridge. 623 pp.